

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
14. November 2002 (14.11.2002)

PCT

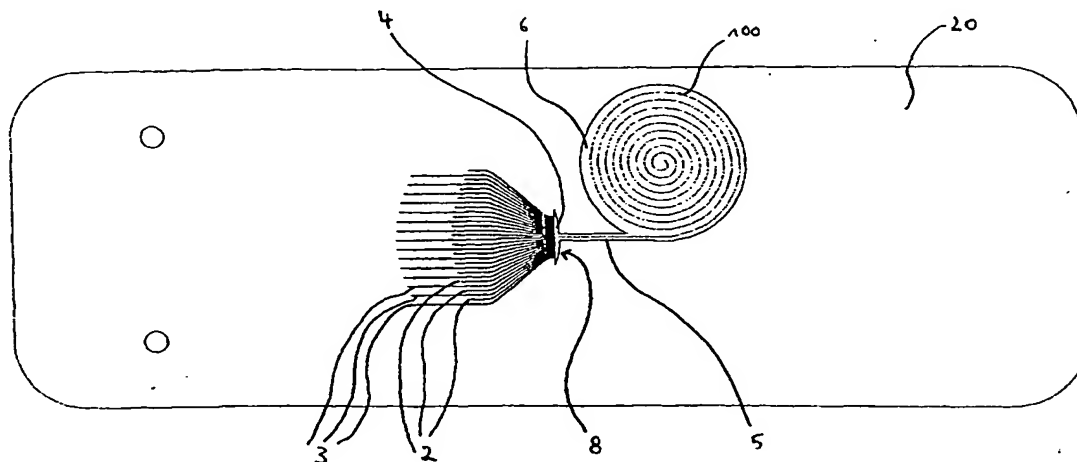
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/089965 A1

- |  |                             |   |
|--|-----------------------------|---|
| (51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :<br>5/02, B01J 19/00, B01F 5/00 | B01F 13/00,                 | (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INSTITUT FÜR MIKROTECHNIK MAINZ GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 18, 55129 Mainz (DE).   |
| (21) Internationales Aktenzeichen:   | PCT/EP02/04906              |   |
| (22) Internationales Anmeldedatum:<br>4. Mai 2002 (04.05.2002)                         |                             | (72) Erfinder; und<br>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LÖWE, Holger [DE/DE]; Anna-Seghers-Strasse 3, 55276 Oppenheim (DE). HESSEL, Volker [DE/DE]; Über dem Berg 4, 65510 Hünstetten-Wallbach (DE). HARDT, Steffen [DE/DE]; Rieslingstrasse 62, 55129 Mainz (DE). |
| (25) Einreichungssprache:  | Deutsch                     |   |
| (26) Veröffentlichungssprache:   | Deutsch                     |   |
| (30) Angaben zur Priorität:<br>101 23 092.3  | 7. Mai 2001 (07.05.2001) DE | (74) Anwälte: FUCHS, Jürge, H. usw.; Abraham-Lincoln-Strasse 7, 65189 Wiesbaden (DE).   |

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND STATIC MIXER FOR MIXING AT LEAST TWO FLUIDS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND STATISCHER MISCHER ZUM MISCHEN MINDESTENS ZWEIER FLUIDE



**WO 02/089965 A1** (57) Abstract: The invention relates to a method for mixing at least two fluids, according to which a plurality of separate fluid streams of both fluids converge, forming fluid lamellae of alternately adjacent fluids. The convergent fluid lamellae are evacuated in the form of a focalised combined fluid stream. Said focalised combined fluid stream is introduced as a jet of fluid into a swirl chamber, forming a fluid spiral that flows towards the interior. The mixture formed is drained from the centre of the fluid spiral. The micro-mixer is characterised by a swirl chamber (6, 16, 116), into which the focalising channel (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') opens in such a way that the focalised combined fluid stream enters in the form of a jet of fluid and forms a fluid spiral (100) that flows towards the interior. At least one outlet channel (7) that has a fluidic connection to the swirl chamber (6, 16, 116) drains the mixture that has been formed.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Mischen mindestens zweier Fluide beschrieben, bei dem eine Vielzahl getrennter Fluidströme der beiden Fluide unter Bildung abwechselnd benachbarter Fluidlamellen zusammengeführt werden. Die vereinigten Fluidlamellen werden unter Ausbildung eines fokussierten Gesamtfuidstroms abgeführt.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärung gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

**Veröffentlicht:**

— *mit internationalem Recherchenbericht*  
— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Der fokussierte Gesamtfluidstrom wird als Fluidstrahl in eine Wirbelkammer unter Ausbildung einer nach innen strömenden Fluidspirale eingeleitet. Das Ableiten der gebildeten Mischung erfolgt aus dem Zentrum der Fluidspirale. Der Mikrovermischer ist gekennzeichnet durch eine Wirbelkammer (6, 16, 116), in die der Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') derart einmündet, dass der fokussierte Gesamtfluidstrom als Fluidstrahl eintritt unter Ausbildung einer nach innen strömenden Fluidspirale (10). Mindestens ein mit der Wirbelkammer (6, 16, 116) fluidisch in Verbindung stehender Auslasskanal (7) dient zum Ableiten der gebildeten Mischung.

## Verfahren und statischer Mischer zum Mischen mindestens zweier Fluide

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Mischen mindestens zweier Fluide gemäß Patentanspruch 1 und einen statischen Mikrovermischer gemäß des Oberbegriffs des Patentanspruchs 12.

Ziel beim Mischen mindestens zweier Fluide ist das Erreichen einer gleichförmigen Verteilung der beiden Fluide in einer bestimmten, in der Regel möglichst kurzen Zeit. Besonders vorteilhaft werden hierzu statische Mikrovermischer eingesetzt, wie sie in der Übersicht von W. Ehrfeld, V. Hessel, H. Löwe in *Microreactors, New Technology for Modern Chemistry*, Wiley-VCH 2000, Seiten 41 bis 85 dargestellt sind. Für die Mischung von Flüssigkeiten werden mit bekannten statischen Mikrovermischem durch Erzeugen abwechselnd benachbarter Fluidlamellen einer Stärke im  $\mu\text{m}$ -Bereich Mischzeiten zwischen 1 s und wenigen Millisekunden erzielt. Die Vermischung von Gasen findet aufgrund der höheren Diffusionskonstanten noch deutlich schneller statt. Im Gegensatz zu dynamischen Mischern, in denen turbulente Strömungsverhältnisse vorherrschen, wird in statischen Mikrovermischem durch die vorgegebene Geometrie ein exaktes Einstellen der Breite der Fluidlamellen und damit der Diffusionswege ermöglicht. Die hierdurch in statischen Mikrovermischem erzielte sehr enge Verteilung der Mischzeiten erlaubt vielfältige Möglichkeiten der Optimierung von chemischen Umsetzungen im Hinblick auf Selektivität und Ausbeute. Ein weiterer Vorteil von statischen Mikrovermischem ist die Verkleinerung der Bauteilgröße und damit Integrierbarkeit in weitere Systeme, wie Wärmetauscher und Reaktoren.

Durch das Zusammenwirken zweier oder mehrerer auf so engem Raum zusammengeschalteter Komponenten ergeben sich wiederum neue Möglichkeiten der Prozessoptimierung. Die Anwendungspotenziale von Mikrovermischen erstrecken sich von flüssig-flüssig und gas-gas Mischungen zur Bildung von flüssig-flüssig Emulsionen, gas-flüssig Dispersionen und damit auch zu Mehrphasen- und Phasentransfer-Reaktionen.

Ein nach dem Prinzip der Multilamination arbeitender statischer Mikrovermischer weist in einer Ebene eine mikrostrukturierte Interdigitalstruktur aus ineinandergreifenden Kanälen einer Breite von 25  $\mu\text{m}$  oder 40  $\mu\text{m}$  auf (a. a. O., Seite 64 bis 73). Die beiden zu mischenden Fluide werden durch die Kanäle in eine Vielzahl voneinander getrennter Fluidströme aufgeteilt, die entgegengesetzt parallel zueinander strömend und alternierend zueinander angeordnet sind. Durch einen Schlitz werden die benachbarten Fluidströme senkrecht aus der Ebene nach oben abgeführt und miteinander kontaktiert. Mittels für die Massenfertigung geeigneter Strukturierungsverfahren lassen sich die Kanalgeometrien und damit die Fluidlamellenbreite nur begrenzt bis in den unteren  $\mu\text{m}$ -Bereich reduzieren.

Eine weitere Reduzierung der nach dem Multilaminationsprinzip erhaltenen Fluidlamellen kann durch sogenanntes geometrisches Fokussieren erzielt werden. Solch ein statischer Mikrovermischer zum Umsetzen gefährlicher Stoffe wird von T. M. Floyd et al. auf den Seiten 171 bis 179 in Microreaction technology: industrial prospects; proceedings of the Third International Conference on Microreaction Technology/ IMRET3, editor: W. Ehrfeld, Springer 2000 beschrieben. Abwechselnd benachbarte Kanäle für die beiden zu mischenden Fluide münden in einem Halbkreis radial von außen in eine trichterförmig ausgezogene und in einen engen, langen Kanal übergehende Kammer. Der in der Kammer vereinigte Fluidlamellenstrom wird hierbei in den engen Kanal überführt, wodurch eine Verkleinerung der Fluidlamellenbreite stattfindet. Unter diesen laminaren Strömungsbedingungen

erfolgt die Mischung allein durch Diffusion, so daß auch durch Reduktion der Lamellenbreiten in den unteren  $\mu\text{m}$ -Bereich Mischzeiten im Millisekundenbereich erreichbar werden. Nachteilig ist, daß der enge als Reaktionsraum dienende Kanal im Hinblick auf eine vollständige Durchmischung in einer ausreichenden Länge auszugestalten ist, was eine große Bauform bedingt und einen relativ hohen Druckverlust in diesem Mikromischer bewirkt.

Die Erfindung hat zur Aufgabe, ein Verfahren und einen statischen Mikrovermischer zum Mischen mindestens zweier Fluide zur Verfügung zu stellen, die ein schnelleres und gleichmäßigeres Mischen bei gleichzeitig geringem Druckverlust und kleinem Bauraum ermöglichen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 und einem statischen Mikrovermischer gemäß Anspruch 12 gelöst.

Nachfolgend wird unter dem Begriff Fluid ein gasförmiger oder flüssiger Stoff oder ein Gemisch solcher Stoffe verstanden, das einen oder mehrere feste, flüssige oder gasförmige Stoffe gelöst oder dispergiert enthalten kann.

Der Begriff Mischen umfaßt auch die Vorgänge Lösen, Dispergieren und Emulgieren. Demzufolge umfaßt der Begriff Mischung Lösungen, flüssig-flüssig Emulsionen, gas-flüssig und fest-flüssig Dispersionen.

Unter einer Vielzahl von Fluidströmen, Fluidlamellen oder Fluidkanälen werden je Fluid zwei oder mehr, vorzugsweise drei oder mehr, besonders bevorzugt fünf oder mehr, Fluidströme, Fluidlamellen bzw. Fluidkanäle verstanden. Abwechselnd benachbarte Fluidlamellen oder Fluidkanäle bedeutet bei zwei Fluiden A, B, daß diese in mindestens einer Ebene alternierend, eine Reihenfolge von ABAB ergebend, nebeneinander liegen. Der Begriff "abwechselnd benachbart" umfaßt bei drei Fluiden A, B, C unterschiedliche

Reihenfolgen, wie beispielsweise ABCABC oder ABACABAC. Die Fluidlamellen oder Fluidkanäle können auch in mehr als einer Ebene abwechselnd benachbart liegen, beispielsweise in zwei Dimensionen schachbrettartig zueinander versetzt liegen. Die den unterschiedlichen Fluiden zugehörigen Fluidlamellen und Fluidkanäle sind vorzugsweise gleichgerichtet oder entgegengerichtet parallel zueinander angeordnet. Die letztgenannte Variante der Strömungsanordnung ist im Prinzip aus mikrostrukturierten Interdigitalstrukturen aus ineinandergreifenden Fluid-Kanälen bekannt. Die beiden zu mischenden Fluide werden durch die Fluid-Kanäle in einer Vielzahl voneinander getrennter Fluidlamellen aufgeteilt, die entgegengesetzt parallel zueinander strömend und alternierend zueinander angeordnet sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Mischen von mindestens zwei Fluiden umfaßt mindestens vier Verfahrensschritte. Im 1. Schritt wird eine Vielzahl getrennter Fluidströme der beiden Fluide zusammengeführt, wobei sich abwechselnd benachbarte Fluidlamellen der beiden Fluiden bilden. Im 2. Schritt werden die so vereinigten Fluidlamellen unter Ausbildung eines fokussierten Gesamtfluidstroms abgeführt. Im 3. Schritt wird der so erhaltene Gesamtfluidstrom als Fluidstrahl in eine Wirbelkammer unter Ausbildung einer nach innen strömenden Fluidspirale eingeleitet. Im letzten Verfahrensschritt wird die so gebildete Mischung aus dem Zentrum der Fluidspirale abgeleitet.

Das Zusammenführen erfolgt derart, daß die zunächst getrennten Fluidströme in einen Raum einströmen. Hierbei können die Fluidströme parallel zueinander oder ineinanderführend, beispielsweise radial nach innen, ausgerichtet sein. Beim Zusammenführen bilden sich Fluidlamellen aus, deren Querschnittsflächen zunächst denen der Fluidströme entsprechen. Durch das Abführen als fokussierter Gesamtfluidstrom findet eine Reduzierung der Breite und / oder der Querschnittsfläche der Fluidlamellen statt, bei gleichzeitiger Erhöhung der Fließgeschwindigkeit. Der so beschleunigte fokussierte Gesamtfluidstrom wird als Fluidstrahl in die Wirbelkammer eingeleitet. Der in

die Wirbelkammer eintretende Fluidstrahl strömt entlang einer spiralförmigen Linie nach innen zum Zentrum der Wirbelkammer, wo die Mischung abgeleitet wird. Der Fluidstrom weist durch die vorherige Fokussierung entsprechend eng abwechselnd benachbarte Fluidlamellen auf.

Lediglich das in der äußersten Windung strömende Fluid grenzt an die seitlichen Innenflächen der Wirbelkammer an; die inneren Windungen der Fluidspirale grenzen zu beiden Seiten an das in gleicher Richtung strömende Fluid der vorhergehenden und der nachfolgenden Windung. Daher trägt zur Reibung im wesentlichen lediglich der Kontakt mit der oberen und unteren Innenfläche der Wirbelkammer bei. Der mit diesem Mischer erzielte Druckverlust ist daher geringer als der bei einem Mischer mit einem entsprechend lang ausgebildeten Fokussierungskanal. Darüber hinaus ist durch den spiralförmigen Verlauf eine kompakte Bauform bei langer Mischstrecke und damit langer Verweilzeit realisiert.

Ein weiterer Vorteil ist der Kontakt einer Windung der Fluidspirale mit der vorhergehenden und der nachfolgenden Windung, was zur schnelleren diffusiven Mischung der Fluidlamellen untereinander beiträgt.

Vorteilhaft herrschen im Innern der Wirbelkammer laminare Strömungsverhältnisse vor. Es ist jedoch auch denkbar, in Teilbereichen turbulente Strömungsverhältnisse bei einem sich insgesamt spiralförmig nach innen fließenden Fluidstrom vorliegen zu haben.

Im Hinblick auf eine vollständige Mischung durch Diffusion weist der spiralförmig nach Innen fließende Fluidstrom eine ausreichende Länge und damit eine ausreichende Anzahl an Windungen auf, um je in die Wirbelkammer einströmendem Fluidvolumen eine ausreichende Verweilzeit zu erzielen.

Die Einstellung der gewünschten Verhältnisse kann insbesondere durch eine entsprechende Wahl der Querschnittsfläche des einströmenden fokussierten Gesamtfluidstroms, der Form und Abmessungen der Wirbelkammer sowie der Querschnittsfläche des Auslasses für die gebildete Mischung aus der Wirbelkammer erreicht werden.

Vorzugsweise werden Fluidströme mit jeweils einer Breite im Bereich von  $1\text{ }\mu\text{m}$  bis  $1\text{ mm}$  und einer Tiefe im Bereich von  $10\text{ }\mu\text{m}$  bis  $10\text{ mm}$  zusammengeführt.

Bevorzugt werden die vereinigten Fluidströme derart fokussiert, daß das Verhältnis der Querschnittsfläche des fokussierten Gesamtfluidstroms zu der Summe der Querschnittsflächen der zusammenzuführenden Fluidströme jeweils senkrecht zur Strömungsrichtung im Bereich von 1 zu 1,5 bis 1 zu 500, vorzugsweise im Bereich von 1 zu 2 bis 1 zu 50, liegt. Je kleiner das Verhältnis ist, desto stärker wird die Lamellenbreite reduziert und desto stärker wird die Fließgeschwindigkeit erhöht, mit der der fokussierte Gesamtfluidstrom als Fluidstrahl in die Wirbelkammer eingeleitet wird. Gemäß einer Ausführungsvariante weist der fokussierte Gesamtfluidstrom einen über seine Länge gleichbleibenden Querschnitt auf. Nach einer anderen Ausführungsvariante nimmt die Querschnittsfläche des fokussierten Gesamtfluidstroms vom Bereich des Zusammenführens der Fluidströme hin zur Einmündung in die Wirbelkammer ab, wobei obiges Verhältnis für den Bereich mit kleinster Querschnittsfläche gilt.

Bevorzugt liegt das Verhältnis der Länge des fokussierten Gesamtfluidstroms zu seiner Breite im Bereich von 1 zu 1 bis 30 zu 1, vorzugsweise im Bereich 1,5 zu 1 bis 10 zu 1. Hierbei soll der fokussierte Gesamtfluidstrom möglichst ausreichend lang sein, um eine ausreichend fokussierende Wirkung unter Beibehaltung der laminaren Strömungsverhältnisse zu erzwingen. Jedoch sollte der fokussierte Gesamtfluidstrom kurz ausgebildet werden, um im Hinblick auf



einen geringen Druckverlust und eine kompakte Bauform den Gesamtfluidstrom möglichst rasch als Fluidstrahl in die Wirbelkammer einleiten zu können.

Vorteilhaft besitzt die Wirbelkammer in der Ebene der Fluidspirale eine im wesentlichen runde oder ovale Form, um ein Ausbilden der Fluidspirale bei laminaren Strömungsverhältnissen und geringem Druckverlust zu ermöglichen.

Nach einer Ausführungsform wird der fokussierte Gesamtfluidstrom in spitzem Winkel oder bevorzugt tangential in die Wirbelkammer eingeleitet, insbesondere um möglichst viele Windungen der Fluidspirale zu generieren, und um Totwasserbereiche, d. h. Bereich, die nicht ständig durchströmt werden, zu vermeiden.

Bei der Kontaktierung nicht mischbarer Fluide (z.B. flüssig-gasförmig) kann es günstig sein, die disperse Phase in einem steileren Winkel als die kontinuierliche Phase in die Wirbelkammer einströmen zu lassen. Durch eine benachbarte tangential-einströmung der kontinuierlichen Phase können entstehende Tropfen oder Blasen abgesichert werden, wodurch man kleinere Tropfen/Blasen erhält. Da im Falle der Mischung flüssiger und gasförmiger Fluide die Flüssigkeit eine wesentlich höhere Masse als das Gas aufweist, wird die Spiralbildung durch die Einleitung der Gase in einem steileren Winkel nur wenig gestört.

Es kann von Vorteil sein, in die vereinigten Fluidströme und/oder in die Wirbelkammer ein weiteres Fluid einzuleiten. Das weitere Fluid kann einen die Mischung stabilisierenden Hilfsstoff, beispielsweise einen Emulgator, aufweisen. Es ist auch denkbar, daß die Fluidströme bereits einen solchen Hilfsstoff beigemischt enthalten.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden die ersten beiden Verfahrensschritte an mindestens zwei räumlich getrennten Orten jeweils gleichzeitig durchgeführt und die so erhaltenen fokussierten Gesamtfluidströme in einer Ebene der Wirbelkammer derart eingeleitet, daß sich eine gemeinsame nach innen strömende Fluidspirale bildet, die aus mindestens zwei einzelnen ineinanderliegenden Fluidspiralen gebildet wird. Die sich ausbildenden Fluidspiralen liegen derart gemeinsam in einer Ebene und um ein Zentrum, daß die jeweiligen Windungen benachbart zueinander liegen. So resultiert bei beispielsweise zwei oder drei eingeleiteten fokussierten Gesamtfluidströmen eine Art Doppel- oder Dreifachspirale.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden die ersten beiden Verfahrensschritte an mindestens zwei räumlich getrennten Orten jeweils gleichzeitig durchgeführt und die somit erhaltenen fokussierten Gesamtfluidströme in unterschiedlichen Ebenen der Wirbelkammer derart zugeführt, daß sich übereinanderliegende nach innen strömende Fluidspiralen bilden.

So ist es beispielsweise möglich in einer ersten Ebene einen oder mehrere fokussierte Gesamtgasströme und Gesamtflüssigkeitsströme abwechselnd benachbart in die Wirbelkammer einzuleiten und in den darauffolgenden Ebenen jeweils weitere Gesamtflüssigkeitsströme in die Wirbelkammer einzuleiten. Dies kann beispielsweise dadurch realisiert werden, daß die Höhe der Wirbelkammer vergrößert wird, wobei sich z.B. der Auslaß am Boden und die Einlässe nahe der Decke der Wirbelkammer befinden, so daß der ebenen Fluidbewegung eine vertikale Bewegung überlagert wird. Anstatt spiralförmiger Trajektorien werden helikale Trajektorien erhalten. Dadurch kann z.B. die Verweil- und Kontaktzeit von Gasblasen in bzw. mit einer Flüssigphase erhöht werden. Werden in den weiteren nach unten folgenden Ebenen weitere Gesamtfluidströme in die Wirbelkammer eingeleitet, so bilden diese weniger Windungen bis zur Ableitung aus der Wirbelkammer aus. Durch

diese Ausführungsform wird durch die Verlängerung des Fluidstroms und der höheren Anzahl an Windungen der sich ausbildenden Fluidspirale eine noch größere Verweilzeit der Gesamtfluidströme in der Wirbelkammer erreicht.

Besonders vorteilhaft werden die fokussierten Gesamtfluidströme symmetrisch in einer oder mehreren Ebenen um die Wirbelkammer verteilt in diese eingeleitet. Die einzuleitenden Gesamtfluidströme können die gleichen Fluide oder auch unterschiedliche Fluide aufweisen, die dann erst in dem gemeinsamen Raum kontaktiert und gemischt werden. Die zuvor beschriebenen unterschiedlichen Ausführungen können analog auch bei dieser Ausführungsform vorteilhaft eingesetzt werden.

In einer weiteren Ausführungsform werden die fokussierten Gesamtfluidströme in unterschiedlichen Winkeln in die Wirbelkammer eingeleitet. Besonders vorteilhaft wird diese Ausführungsform zum Mischen von Gasen mit Flüssigkeiten in der Wirbelkammer eingesetzt. Hierbei werden die Gesamtgasströme in einem steileren Winkel als die Gesamtflüssigkeitsströme in die Wirbelkammer eingeleitet, wobei die Gesamtflüssigkeitsströme auch gasflüssig-Dispersionen aufweisen können. Hierdurch werden die in die Wirbelkammer einströmenden Gesamtgasströme von den Gesamtflüssigkeitsströmen in kleine Gasbläschen zerteilt.

Der erfindungsgemäße statische Mikrovermischer zum Mischen mindestens zweier Fluide ist gekennzeichnet durch eine Wirbelkammer, in die der Fokussierungskanal derart einmündet, daß der fokussierte Gesamtfluidstrom als Fluidstrahl eintritt unter Ausbildung einer nach innen strömenden Fluidspirale, und mindestens einen mit der Wirbelkammer fluidisch in Verbindung stehenden Auslaßkanal zum Ableiten der gebildeten Mischung.

Die Vielzahl abwechselnd benachbarter Fluidkanäle weist vorzugsweise eine Breite im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 1 mm und eine Tiefe im Bereich von 10  $\mu\text{m}$  bis 10 mm zur getrennten Zuführung der Fluide als Fluidströme auf.

Die Einlaßkammer, in die die Fluidkanäle einmünden, dient dem Zusammenführen der Vielzahl getrennter Fluidströme der beiden Fluide. Der Fokussierungskanal ist zum Abführen der in der Einlaßkammer vereinigten Fluidströme unter Ausbildung eines fokussierten Gesamtfluidstroms fluidisch mit der Einlaßkammer verbunden. Der Fokussierungskanal mündet derart in die Wirbelkammer ein, daß der fokussierte Gesamtfluidstrom als Fluidstrahl eintritt unter Ausbildung einer konzentrisch nach Innen strömenden Fluidspirale. Der mindestens eine mit der Wirbelkammer fluidisch in Verbindung stehende Auslaßkanal dient zum Ableiten der gebildeten Mischung.

Bezüglich der mit diesem Mikrovermischer verbundenen Vorteile wird auf obige Ausführungen zum erfindungsgemäßen Verfahren, insbesondere zu geringem Druckverlust, Erhöhung der für die schnellere diffusive Mischung zur Verfügung stehenden Kontaktfläche und kleine Bauform verwiesen.

Die schnelle Mischung wird durch die Erzeugung sehr dünner Fluidlamellen und damit durch eine Reduktion des Diffusionswegs erreicht. Die Fluidlamellen werden der Wirbelkammer zugeführt, die eine weitere Reduktion des Diffusionswegs durch Verkipfung der Fluidlamellen und Verringerung der Lamellenbreite bewirkt. Die Wirbelkammer kann relativ großskalig ausgelegt werden (großer Durchmesser, große Höhe), dennoch werden sehr dünne Lamellen erzeugt. Der Druckverlust in der Wirbelkammer kann durch den großen hydraulischen Durchmesser gering gehalten werden. Nur die Einschnürung durch den Fokussierungskanal trägt zum Druckverlust bei. Diese Einschnürung kann jedoch sehr lokal, d.h. auf einer sehr kleinen Strömungslänge, geschehen, so daß es nur zu einem moderaten Druckverlust kommt.

Vorzugsweise weist die Einlaßkammer eine den Fluidkanälen gegenüberliegende, konkave Wand auf, in die der Fokussierungskanal vorteilhafterweise mittig einmündet.

Durch die konkave Wand wird ein rasches Zusammenführen verbunden mit einer Fokussierung und Abführen in den Fokussierungskanal unter Erhalt der Fluidlamellen erreicht.

Es ist jedoch auch denkbar, die vereinigten Fluidlamellen allmählich auf den Fokussierungskanal zuzuführen, wozu die Einlaßkammer in zumindest einer in Strömungsrichtung Ebene dreieckförmig-zulaufend oder trichterförmig ausgebildet ist.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Einlaßkammer einen in Strömungsrichtung konstanten Querschnitt auf. Eine Fokussierung findet in der Einlaßkammer dann nicht statt, sondern erst in dem Fokussierungskanal, der beispielsweise einen sich verjüngenden Querschnitt in Strömungsrichtung aufweisen kann. In diesem Fall wird vorzugsweise der Querschnitt der Eintrittsöffnung des Fokussierungskanals dem Querschnitt der Einlaßkammer entsprechen.

Der Fokussierungskanal kann in Strömungsrichtung auch einen konstanten Querschnitt aufweisen, was insbesondere dann eingesetzt wird, wenn die Einlaßkammer bereits eine Fokussierung gewährleistet, so daß die Fokussierung in dem Fokussierungskanal lediglich fortgeführt wird.

Zwei bevorzugte Ausführungsformen, wie die Fluidkanäle in die Einlaßkammer einmünden, sind eine zueinander parallele Ausrichtung und eine radial in Richtung Einlaßkammer zulaufende Ausrichtung.

Im Sinne einer einfachen technischen Realisierung ist es von Vorteil, wenn die Fluidkanäle, die Einlaßkammer, der Fokussierungskanal und / oder die Wirbelkammer die gleiche Tiefe aufweisen. Hierbei ist es ebenfalls von Vorteil, wenn die Einmündungen der Fluidkanäle zumindest im Bereich der Einlaßkammer in einer Ebene liegen.

Bevorzugt ist der Fokussierungskanal derart ausgebildet, daß das Verhältnis der Querschnittsfläche des Fokussierungskanals zu der Summe der Querschnittsflächen der in die Einlaßkammer einmündenden Fluidkanäle jeweils senkrecht zur Kanalachse im Bereich von 1 zu 1,5 bis 1 zu 500, vorzugsweise im Bereich von 1 zu 2 bis 1 zu 50, liegt. Hierdurch wird ein im Vergleich zur vorgegebenen Breite der Fluidkanäle weiteres Reduzieren der Lamellenbreite und/oder Querschnittsfläche und damit einhergehend ein Erhöhen der Fließgeschwindigkeit erzielt. Gemäß einer Ausführungsvariante weist der Fokussierungskanal über seine gesamte Länge einen im wesentlichen gleichbleibenden Querschnitt auf.

Nach einer anderen Ausführungsvariante nimmt die Querschnittsfläche des Fokussierungskanals von der Einlaßkammer hin zur Wirbelkammer ab, wobei obiges Verhältnis der Querschnittsflächen für den Bereich mit kleinster Querschnittsfläche anzuwenden ist. Die Querschnittsfläche des Fokussierungskanals im Bereich der Einmündung in die Wirbelkammer bestimmt mit die Breite und damit die Anzahl der Windungen des spiralförmig gewundenen Fluidstroms. Vorteilhaft ist das Verhältnis der Breite des in die Wirbelkammer einmündenden Fokussierungskanals zum Durchmesser der Wirbelkammer in der Ebene, in der sich die Fluidspirale ausbildet, kleiner oder gleich 1 zu 10.

Bevorzugt liegt das Verhältnis der Länge des Fokussierungskanals zu seiner Breite zumindest im Bereich der Einmündung in die Wirbelkammer im Bereich von 1 zu 1 bis 30 zu 1, vorzugsweise im Bereich von 1,5 zu 1 bis 10 zu 1.

Hierbei wird die Länge des Fokussierungskanals vorteilhaft so gewählt, daß ein Fokussieren auf kleine Fluidlamellenbreiten unter Erhalt der Fluidlamellen sowie im Sinne eines geringen Druckverlusts ein rasches Einleiten in die Wirbelkammer erfolgt.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Fokussierungskanal in einem spitzen Winkel oder tangential in die Wirbelkammer einmündend angeordnet. Dies ermöglicht insbesondere ein Einleiten des Fluidlamellenstroms unter Beibehaltung laminarer Strömungsverhältnisse und ein Ausbilden einer Fluidspirale mit einer Vielzahl von Windungen.

Bevorzugt weist die Wirbelkammer in einer Ebene, in der der Fokussierungskanal liegt, einen im wesentlichen runden oder ovalen Querschnitt auf. Hierdurch werden Totwasserbereiche vermieden. Besonders bevorzugt weist die Wirbelkammer eine im wesentlichen zylindrische Form auf. Vorteilhaft ist hierbei die Höhe des Fokussierungskanals, zumindest im Bereich der Einmündung, kleiner oder gleich der Höhe der Wirbelkammer.

Der oder die Auslaßkanäle münden vorzugsweise unter- und/ oder oberhalb eines zentralen Bereichs, insbesondere im Bereich des Mittelpunkts, in die Wirbelkammer. Die Querschnittsfläche des oder der Auslaßkanäle ist vorteilhaft im Vergleich zum Durchmesser der Wirbelkammer und zur Querschnittsfläche des einmündenden Fokussierungskanals so bemessen, daß sich eine Fluidspirale mit einer Vielzahl von Windungen ausbilden kann. Vorzugsweise beträgt das Verhältnis des Durchmessers des Auslaßkanals zum Durchmesser der Wirbelkammer kleiner gleich 1 zu 5.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform münden in die Einlaßkammer, den Fokussierungskanal oder die Wirbelkammer ein oder mehrere Zuführungskanäle zum Zuführen eines weiteren Fluids ein. Solche Fluide können einen die Mischung stabilisierenden Hilfsstoff, beispielsweise einen

Emulgator, aufweisen. Vorteilhaft münden die Zuführungskanäle tangential in die Wirbelkammer, so daß zwischen benachbarte Windungen der Fluidspirale jeweils ein Strom des weiteren Fluid liegt. Besonders vorteilhaft münden beim Zuführen eines gasförmigen, weiteren Fluids in eine mindestens eine Flüssigkeit enthaltende Fluidspirale in der Wirbelkammer die Zuführkanäle für das weitere Fluid nicht tangential, sondern in einem steileren Winkel in die Wirbelkammer. Auf diese Weise wird das zugeführte Gas von der Fluidspirale in kleine Gasbläschen zerteilt und fein verteilt.

Nach einer weiteren Ausführungsform sind die Vielzahl benachbarter Fluidkanäle, die Einlaßkammer, in die die Fluidkanäle einmünden, und der mit der Einlaßkammer fluidisch in Verbindung stehende Fokussierungskanal jeweils zwei oder mehrfach vorhanden und die zwei oder mehr Fokussierungskanäle münden in einer Ebene in die eine gemeinsame Wirbelkammer ein. Die Fokussierungskanäle münden derart, in spitzem Winkel oder bevorzugt tangential in die Wirbelkammer ein, daß die Fluidstrahlen entsprechend zwei oder mehr benachbart zueinander konzentrisch nach Innen strömende Fluidspiralen bilden. Die Fokussierungskanäle sind hierbei vorteilhaft in einer Ebene äquidistant um die gemeinsame Wirbelkammer einmündend angeordnet. Die zwei oder mehrfach vorhandene Vielzahl von benachbarten Fluidkanälen, Einlaßkammern und Fokussierungskanälen sind räumlich voneinander getrennt angeordnet und lediglich über die gemeinsame Wirbelkammer fluidisch miteinander in Verbindung. Diese Strukturen können der Zuführung der gleichen Fluide, beispielsweise zweifach der Fluide A, B, oder aber auch unterschiedlicher Fluide, beispielsweise die Fluide A, B und C, D, dienen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Vielzahl benachbarter Fluidkanäle, die Einlaßkammer, in die die Fluidkanäle einmünden, und der mit der Einlaßkammer fluidisch in Verbindung stehende Fokussierungskanal jeweils zwei oder mehrfach vorhanden und die zwei oder mehr



Fokussierungskanäle münden in mehreren Ebenen in die eine gemeinsame Wirbelkammer ein.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform münden die Fokussierungskanäle für die Gesamtfluidströme in unterschiedlichen Winkeln in die Wirbelkammer ein. Diese Ausführungsform wird insbesondere für das Mischen von fokussierten Gesamtgasströmen mit Gesamtfluidströmen, die mindestens eine Flüssigkeit enthalten, in der Wirbelkammer verwendet. Die Zuführkanäle für die Gesamtgasströme münden in diesem Fall in einem spitzeren Winkel als die Zuführkanäle für die mindestens eine Flüssigkeit enthaltenden Gesamtfluidströme in die Wirbelkammer ein. Auf diese Weise werden die in steilem eingeleiteten Gesamtgasströme von den in spitzerem Winkeln eingeleiteten Gesamtflüssigkeitsströmen in feine Gasbläschen zerteilt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Fluidführungsstrukturen als Ausnehmungen und/oder Durchbrüche in Platten aus einem für die zu mischenden Fluide ausreichend inerten Material eingebracht. Ausnehmungen, wie beispielsweise Nuten oder Sacklöcher, sind in einer Ebene sowie senkrecht hierzu von Material umgeben. Durchbrüche, wie beispielsweise Schlitzte oder Löcher, gehen dagegen durch das Material hindurch, d.h. sind nur in einer Ebene seitlich von dem Material umgeben. Die offenen Strukturen der Ausnehmungen und Durchbrüche werden durch Stapelung mit weiteren Platten zu Fluidführungsstrukturen, wie Fluidkanälen und -kammern, wobei die den Plattenstapel fluidisch dicht nach Außen abschließenden Deck und/ oder Bodenplatten Zuführungen für die beiden Fluide und/ oder mindestens eine Abführung für die gebildete Mischung aufweisen.

In einer Variante dieser Ausführungsform sind die Strukturen der Fluidkanäle, der Einlaßkammer, des Fokussierungskanals und der Wirbelkammer als Ausnehmungen und/ oder Durchbrüche in mindestens einer als Mischerplatte

dienenden Platte eingebracht. Die offenen Strukturen der Mischerplatte sind durch eine fluidisch dicht mit der Mischerplatte verbundene Deck- und Bodenplatte abgeschlossen.

Gemäß einer weiteren Variante dieser bevorzugten Ausführungsform weist der statische Mikrovermischer zwischen der Mischerplatte und der Bodenplatte eine mit diesen in Verbindung stehende fluidisch dicht angeordnete Verteilerplatte zum getrennten Zuführen der Fluide von den Zuführungen in der Bodenplatte zu den Fluidkanälen der Mischerplatte auf. Hierzu weist die Verteilerplatte vorteilhaft je zuzuführendem Fluid eine Reihe von Löchern auf, wobei jedes Loch genau einem Fluidkanal zugeordnet ist. So dient bei zwei Fluiden die erste Reihe der Zuführung des ersten Fluids und die zweite Reihe der Zuführung des zweiten Fluids.

Als geeignete Materialien kommen in Abhängigkeit von den verwendeten Fluiden unterschiedliche Materialien, wie beispielsweise Polymermaterialien, Metalle, Legierungen, Gläser, Quarzglas, Keramik oder Halbleitermaterialien, wie Silizium, in Frage. Bevorzugt sind Platten einer Stärke von 10  $\mu\text{m}$  bis 5 mm, besonders bevorzugt von 50  $\mu\text{m}$  bis 1 mm. Geeignete Verfahren zum fluidisch dichten Verbinden der Platten miteinander sind beispielsweise aneinander Pressen, Verwenden von Dichtungen, Kleben oder anodisches Bonden.

Als Verfahren zur Strukturierung der Platten kommen bekannte feinwerk- und mikrotechnische Herstellungsverfahren in Frage, wie beispielsweise Laserablatieren, Funkenerodieren, Spritzgießen, Prägen oder galvanisches Abscheiden. Geeignet sind auch LIGA-Verfahren, die zumindest die Schritte des Strukturierens mit energiereicher Strahlung und galvanisches Abscheiden und ggf. Abformen umfassen.

Das erfindungsgemäße Verfahren und der statische Mikrovermischer werden vorteilhaft zur Durchführung chemischer Umsetzungen von zwei oder mehr Stoffen verwendet, wobei beide Stoffe in einem eingeleiteten Fluid oder der erste Stoff in einem ersten Fluid und der zweite Stoff in einem weiteren Fluid enthalten sind. Hierzu sind in den statischen Mikrovermischer vorteilhaft Mittel zur Steuerung der chemischen Umsetzung integriert, wie beispielsweise Temperatur- oder Drucksensoren, Durchflußmesser, Heizelemente, Verweilrohre oder Wärmetauscher. Diese Mittel können bei einem statischen Mikrovermischer auf Platten mit den Fluidführungsstrukturen oder weiteren ober- und/ oder unterhalb angeordneten und mit diesen funktionell in Verbindung stehenden Platten angeordnet sein. Zur Durchführung heterogen katalysierter chemischer Umsetzungen kann das Material des statischen Mikrovermischers auch katalytisches Material aufweisen.

Besonders vorteilhaft wird das erfindungsgemäße Verfahren und der erfindungsgemäße Mikrovermischer zur Herstellung einer gas-flüssig-Dispersion verwendet, wobei mindestens ein eingeleiteter Gesamtfluidstrom ein Gas oder ein gas-Gemisch und mindestens ein weiterer eingeleiteter Gesamtfluidstrom eine Flüssigkeit, ein Flüssigkeitsgemisch, eine Lösung, eine Dispersion oder eine Emulsion enthält.

Nachfolgend werden Ausführungsformen des erfindungsgemäßen statischen Mikrovermischers an Hand von Zeichnungen exemplarisch erläutert. Es zeigen

Figur 1 a      einen statischen Mikrovermischer, bestehend aus einer Deckplatte, Mischerplatte, Verteilerplatte und Bodenplatte jeweils voneinander getrennt in perspektivischer Darstellung,

Figur 1 b      eine bevorzugte Mischerplatte nach Figur 1a in Draufsicht,

Figur 2      eine weitere bevorzugte Mischerplatte in Draufsicht,

- Figur 3 eine weitere bevorzugte Mischerplatte in Draufsicht,
- Figur 4 eine weitere bevorzugte in der Draufsicht,
- Figur 5 einen Teilschnitt durch einen statischen Mikrovermischer gemäß einer weiteren Ausführungsform.

Die Figur 1a zeigt einen statischen Mikrovermischer 1 mit einer Deckplatte 21, einer Mischerplatte 20, einer Verteilerplatte 26 und einer Bodenplatte 22 jeweils voneinander getrennt in perspektivischer Darstellung.

Die Deckplatte 21, die Mischerplatte 20, die Verteilerplatte 26 und die Bodenplatte 22 weisen jeweils eine Zuführung 23, 23', 23'' für das Fluid A und eine Zuführung 24, 24', 24'' für das Fluid B in Form einer Bohrung auf. Die Bohrungen sind derart angeordnet, daß beim Übereinanderstapeln der Platten die Zuführungen 23, 23', 23'', 24, 24', 24'' mit den Zuführungsstrukturen 23''', 24''' der Bodenplatte 22 fluidisch in Verbindung stehen. Die Zuführung 23''' für das Fluid A und die Zuführung 24''' für das Fluid B sind in Form von Nuten 123a, b, 124a, b derart auf der Bodenplatte 22 angeordnet, daß das Fluid A zu der Verteilerstruktur 27 und das Fluid B zu der Verteilerstruktur 28 der darüber liegenden Verteilerplatte 26 ohne wesentliche Druckverluste geleitet werden kann. Von den Zuführungsstrukturen 23'', 24'' führen Verbindungsuten 123a, 124a zu Verteilernuten 123b, 124b, wobei sich die Verbindungsut 124b trichterförmig erweitert. Die Verteilerplatte 26 weist eine Verteilerstruktur 27 für das Fluid A und eine Verteilerstruktur 28 für das Fluid B jeweils in Form einer Reihe von durch die Platte hindurchgehenden Löchern auf, die über den Verteilernuten 123b und 124b liegen.

Die in Figur 1 b in Draufsicht gezeigte Mischerplatte 20 weist Fluidkanäle 2,3, eine Einlaßkammer 4, einen Fokussierungskanal 5 und eine Wirbelkammer 6 auf. Die Abführung 25 in Form einer Bohrung in der Deckplatte 21 ist derart angeordnet, daß beim Übereinanderstapeln der Platten die Abführung 25 mit einem zentralen Bereich der Wirbelkammer 6 der Mischerplatte 20 fluidisch in Verbindung steht. Die Kanäle 2 für das Fluid A weisen eine kleinere Länge als die Kanäle 3 für das Fluid B auf. Die Kanäle 2, 3 sind in ihrer von der Einlaßkammer 4 abgewandten Seite parallel zueinander ausgerichtet, wobei die Kanäle 2 für das Fluid A abwechselnd benachbart mit den Kanälen 3 für das Fluid B liegen. In einem Übergangsbereich verringert sich der Abstand der Kanäle untereinander in Richtung Einlaßkammer 4. Im Bereich der Einmündung in die Einlaßkammer 4 sind die Kanäle 2, 3 wiederum parallel zueinander ausgerichtet. Um einen gleichmäßigen Volumenstrom über alle Kanäle 2, 3 für jeweils ein Fluid zu erreichen, weisen die Kanäle 2, 3 jeweils untereinander die gleiche Länge auf. Dies führt dazu, daß die von der Eintrittskammer 4 entfernt liegenden Enden der Fluidkanäle 2, 3 jeweils auf einem Bogen liegen. Die Bohrungen der Verteilerstrukturen 27, 28 der Verteilerplatte 26 sind ebenfalls jeweils in einem Bogen derart angeordnet, daß die Enden der Kanäle 2, 3 jeweils fluidisch mit einer Bohrung kontaktiert werden. Die Einlaßkammer 4, in die die Fluidkanäle 2, 3 einmünden, weist in der Ebene der Fluidkanäle eine konkave Form auf. Im mittleren Bereich der konkaven Wand 8, die den Einmündungen der Fluidkanäle 2, 3 gegenüberliegt, geht die Einlaßkammer 4 in den Fokussierungskanal 5 über. Der Fokussierungskanal 5 mündet tangential in die Wirbelkammer 6 ein, die von einer in der Ebene der Mischerplatte 20 kreisrunden Kammer gebildet ist. Die Strukturen der Fluidkanäle 2, 3, der Einlaßkammer 4, des Fokussierungskanals 5 und der Wirbelkammer 6 sind durch das Material der Mischerplatte 20 hindurchgehende Durchbrüche gebildet, wodurch diese Strukturen die gleiche Tiefe aufweisen. Durch die darunterliegende Verteilerplatte 26 und die darüberliegende Deckplatte 21 werden diese zu zwei Seiten hin offenen Strukturen unter Bildung von Kanälen bzw. Kammern abgedeckt.

Beim betriebsfertigen Mikrovermischer 1 sind die hier voneinander getrennt dargestellten Platten 21, 20, 26 und 22 übereinander gestapelt und fluidisch dicht miteinander verbunden, wodurch die offenen Strukturen, wie Nuten 23'', 24'' und Durchbrüche 2, 3, 4, 5 und 6, unter Bildung von Kanälen und Kammern abgedeckt sind. Der so erhaltene Stapel aus den Platten 21, 20, 26 und 22 kann in ein Mischergehäuse aufgenommen sein, das geeignete fluidische Anschlüsse für die Zuführung von zwei Fluiden und die Abführung des Fluidgemischs aufweist. Darüber hinaus kann durch das Gehäuse eine Anpresskraft auf den Plattenstapel zum fluidisch dichten Verbinden aufgebracht werden. Es ist auch denkbar, den Plattenstapel als Mikrovermischer 1 ohne Gehäuse zu betreiben, wozu mit den Zuführungen 23, 24 und der Abführung 25 der Deckplatte 21 vorteilhaft fluidische Anschlüsse, beispielsweise Schlauchtüllen, verbunden sind.

Beim eigentlichen Mischvorgang wird in die Zuführungsbohrung 23 und in die Zuführungsbohrung 24 der Deckplatte 21 jeweils ein Fluid A und ein Fluid B eingeleitet. Diese Fluide strömen jeweils durch die Zuführungsstrukturen 23', 23'', 23''' und 24', 24'', 24''' der Platten 20, 26 und 22 und werden von dort gleichmäßig jeweils in die als Bohrungen ausgebildeten Verteilerstrukturen 27 und 28 verteilt. Von den Bohrungen der Verteilerstruktur 27 strömt das Fluid A in die exakt darüber angeordneten Kanäle 2 der Mischerplatte 20. Ebenso gelangt das Fluid B von den Bohrungen der Verteilerstruktur 28 in die exakt darüber angeordneten Kanäle 3. Die in den Fluidkanälen 2, 3 getrennt geführten Fluidströme A, B werden in der Einlaßkammer 4 zusammengeführt unter Bildung abwechselnd benachbarter Fluidlamellen der Folge ABAB. Bedingt durch die halbkongave Form der Einlaßkammer 4 werden die vereinigten Fluidströme rasch in den Fokussierungskanal 5 überführt. Der so gebildete fokussierte Gesamtfluidstrom wird tangential in die Wirbelkammer 6 als Fluidstrahl eingeleitet. Es bildet sich in der Wirbelkammer 6 eine konzentrisch nach innen strömende Fluidspirale 100 aus. Die gebildete Mischung der Fluide A, B wird durch die sich über dem Mittelpunkt der

Wirbelkammer 6 befindliche Abführungsbohrung 25 der Deckplatte 21 abgeleitet.

Die Figur 2 zeigt eine Mischerplatte 20 mit drei in eine gemeinsame Wirbelkammer 16 einmündenden Fokussierungskanälen 5, 15, 35 in Draufsicht. Die Fokussierungskanäle 5, 15, 35 stehen jeweils mit einer Einlaßkammer 4, 14, 34 fluidisch in Verbindung, in die die abwechselnd benachbarten Fluidkanäle 2, 3; 12, 13; 32, 33 einmünden. Der Übersichtlichkeit halber sind die Fluidkanäle 2, 3; 12, 13; 32, 33 gegenüber der Anordnung in Figur 1b vereinfacht dargestellt. Im Gegensatz zur Mischerplatte 20 nach Figur 1b sind hier die Einlaßkammern 4, 14, 34 in der Ebene der Mischerplatte 20 trichterförmig von den Einmündungen der Fluidkanäle 2, 3; 12, 13; 32, 33 auf den Fokussierungskanal 5, 15, 35 zulaufend ausgebildet. Die Fokussierungskanäle 5, 15, 35 selbst verengen sich in ihrer Breite bis hin zur Einmündung in die gemeinsame Wirbelkammer 16. Die der Zuführung der einzelnen und der vereinigten Fluidströme dienenden Anordnungen aus Fluidkanälen 2, 3; 12, 13; 32, 33, aus Einlaßkammern 4, 14, 34 und Fokussierungskanälen 5, 15, 35 sind am Umfang der in der gezeigten Ebene kreisrunden gemeinsamen Wirbelkammer 16 derart äquidistant angeordnet, daß die Fokussierungskanäle 5, 15, 35 tangential in diese einmünden. In der über der Mischplatte 20 befindlichen Deckplatte und über dem Mittelpunkt der gemeinsamen Wirbelkammer ist ein Auslaßkanal 7 angeordnet, dessen Lage hier mit einer gestrichelten kreisrunden Linie angedeutet ist. Die getrennte Zuführung der Fluide in die Fluidkanäle erfolgt durch eine Boden- und Verteilerplatte analog der in der in Figur 1a gezeigten Anordnung. Die Zuführungen können so ausgelegt sein, daß den Fluidkanälen 2, 12, 32 für das eine Fluid und den Fluidkanälen 3, 13, 33 für das weitere Fluid jeweils das gleiche Fluid zugeführt wird, so daß der statische Mikrovermischer zur Vermischung zweier Fluide verwendbar ist. Es ist jedoch auch denkbar die Zuführungen so auszulegen, daß mit dem Mikrovermischer drei oder mehr Fluide gemischt werden können. Hier bieten

sich unterschiedlichste Möglichkeiten der Zuführung an. Als ein Beispiel wird hier die Ausbildung von Fluidlamellen der Abfolge ABACAB in der gemeinsamen Wirbelkammer 16 erläutert.

Die Figur 3 zeigt in Draufsicht eine Mischerplatte 20 mit einer Wirbelkammer 16, in die zwei Fokussierungskanäle 5, 15 und zwei Zuführkanäle 9a, 9b einmünden. Die Fokussierungskanäle 5, 15 stehen jeweils mit einer Einlaßkammer 4, 14 fluidisch in Verbindung, in die die abwechselnd benachbarten Fluidkanäle 2, 3; 12, 13 einmünden. Auch hier sind der Übersichtlichkeit halber die Fluidkanäle 2, 3; 12, 13 gegenüber der Anordnung in Figur 1b vereinfacht dargestellt. Im Gegensatz zur Mischerplatte 20 nach Figur 1b sind hier die Einlaßkammern 4, 14 in der Ebene der Mischerplatte 20 trichterförmig von den Einmündungen der Fluidkanäle 2, 3; 12, 13 auf den Fokussierungskanal 5, 15 zulaufend ausgebildet. Die Fokussierungskanäle 5, 15 selbst verengen sich in ihrer Breite bis hin zur Einmündung in die gemeinsame Wirbelkammer 16. Die der Zuführung der einzelnen und der vereinigten Fluidströme dienenden Anordnungen aus Fluidkanälen 2, 3; 12, 13, aus Einlaßkammern 4, 14 Fokussierungskanälen 5, 15 und Zuführkanälen 9a, 9b sind äquidistant am Umfang der in der gezeigten Ebene kreisrunden gemeinsamen Wirbelkammer 16 derart angeordnet, daß die Fokussierungskanäle 5, 15 und die Zuführkanäle 9a, 9b jeweils abwechselnd tangential in diese einmünden. In der über der Mischplatte 20 befindlichen Deckplatte und über dem Mittelpunkt der gemeinsamen Wirbelkammer ist ein Auslaßkanal 7 angeordnet, dessen Lage hier mit einer gestrichelten kreisrunden Linie angedeutet ist. Die getrennte Zuführung der Fluide in die Fluidkanäle und die Zuführkanäle 9a, 9b erfolgt durch eine Boden- und Verteilerplatte analog der in der in Figur 1a gezeigten Anordnung. Die Zuführungen können so ausgelegt sein, daß den Fluidkanälen 2, 12 ein erstes Fluid, den Fluidkanälen 3, 13 ein zweites Fluid und den Zuführkanälen 9a, 9b ein drittes Fluid, beispielsweise ein Hilfsstoff, zugeführt wird, so daß der statische Mikrovermischer zur Vermischung zweier Fluide unter gleichzeitiger Zugabe



eines die Mischung stabilisierenden Hilfsstoffes verwendbar ist. Auch in diesem Ausführungsbeispiel ist es denkbar die Zuführungen so auszulegen, daß mit dem Mikrovermischer drei oder mehr Fluide unter gleichzeitiger Zugabe eines die Mischungstabilisierenden Hilfsstoffes gemischt werden können. Hier bieten sich unterschiedlichste Möglichkeiten der Zuführung an. Als ein Beispiel wird hier die Ausbildung von Fluidlamellen der Abfolge ABACAD in der gemeinsamen Wirbelkammer 16 erläutert.

Die Figur 4 zeigt eine Mischerplatte 20 zur Herstellung von gas-flüssig-Dispersionen mit vier in eine gemeinsame Wirbelkammer 16 einmündenden Fokussierungskanälen 5, 15, 35, 45 in Draufsicht. Im Gegensatz zur Mischerplatte 20 nach Figur 2 münden zwei Fokussierungskanäle 15, 45 für die Einleitung von Flüssigkeiten oder Flüssigkeitsmischungen annähernd tangential und zwei weitere Fokussierungskanäle 5, 35 für die Einleitung von Gasen oder Gasgemischen in einem steileren Winkel in die Wirbelkammer 6 ein. Die Fokussierungskanäle 5, 15, 35, 45 stehen jeweils mit einer Einlaßkammer 4, 14, 34, 44 fluidisch in Verbindung, in die die abwechselnd benachbarten Fluidkanäle 2, 3, 32, 33, 42, 43, 52, 53 einmünden. Der Übersichtlichkeit halber sind die Fluidkanäle 2, 3, 32, 33, 42, 43, 52, 53 auch in dieser Figur gegenüber der Anordnung in Figur 1b vereinfacht dargestellt.

Die Figur 5 zeigt einen Teilschnitt durch einen statischen Mikrovermischer 1, der eine zylindrische Wirbelkammer 116 aufweist, in die eine Vielzahl von Fokussierungskanälen 105, 105' - 105'', 115, 115' - 115'', 135, 135 - 135'' in mehreren Ebenen im wesentlichen tangential münden. Hierzu sind mehrere Mischerplatten 120, 121, 122 unter Zwischenlegen von Distanzplatten 125 übereinander gestapelt.

Die Zuführung unterschiedlicher Gesamtfluidströme in die Wirbelkammer 116 erfolgt alternierend über die Fokussierungskanäle einer Ebene oder alternierend über die Fokussierungskanäle unterschiedlicher Ebenen. Um die Ausbildung

spiraliger Strömungsmuster zu unterstützen, werden die Fluidströme annähernd tangential in die Wirbelkammer 116 eingeleitet. Die Zuführung der vereinigten Fluidströme von den Einlaßkammern in die Fokussierungskanäle erfolgt durch senkrechte Bohrungen durch die Mischer- und Distanzplatten 120, 121, 122 bzw. 125. Die Bohrungen durchdringen eine definierte Zahl von Misch- und Distanzplatten und stellen so die fluidische Verbindung zu einer spezifischen Ebene von Fokussierungskanälen her. Die Abführung der Fluidströme aus der Wirbelkammer findet über einen zentralen Auslaß an der unteren Stirnfläche der Wirbelkammer statt. Dadurch wird der Strömung eine Geschwindigkeitskomponente entlang der Zylinderachse überlagert und es kommt zur Ausbildung helikaler statt spiralförmiger Stromlinien.

### Ausführungsbeispiel

Der in den Figuren 1 a und 1 b dargestellte statische Mikrovermischer wurde mittels mikrostrukturierter Glasplatten realisiert. Die Mischerplatte 20 und die Verteilerplatte 26 wiesen jeweils eine Stärke von 150  $\mu\text{m}$  und die abschließenden Bodenplatte 22 und Deckplatte 21 jeweils eine Stärke von 1 mm auf. Als Zuführungen 23, 23', 23'', 24, 24', 24'' in der Deckplatte 21, der Mischerplatte 20 und der Verteilerplatte 26 wurden Bohrungen mit einem Durchmesser von 1,6 mm gewählt. Die Verteilerplatte 26 wies als Verteilerstrukturen 27, 28 zwei Reihen von je 15 Langlöchern einer Länge von 0,6 mm und einer Breite von 0,2 mm auf. Die Fluidkanäle 2, 3 der Mischerplatte 20 wiesen eine Breite von 60  $\mu\text{m}$  bei einer Länge von 11,3 mm bzw. einer Länge von 7,3 mm auf. Im Bereich der Einmündung der Kanäle 2,3 in die Einlaßkammer 4 wiesen die sich zwischen den Kanälen 2,3 befindenden Stege eine Breite von 50  $\mu\text{m}$  auf. Die Breite der Einlaßkammer 4 im Bereich der Einmündung der Fluidkanäle 2, 3 reduzierte sich von 4,3 mm hin zur gegenüberliegenden Seite auf eine Breite des Fokussierungskanals von 0,5 mm. Da alle Strukturen der Mischerplatte 20 als Durchbrüche realisiert wurden, weisen die Fluidkanäle 2, 3, die Einlaßkammer 4, der

Fokussierungskanal 5 und die Wirbelkammer 6 eine Tiefe auf, die gleich der Stärke der Mischerplatte von  $150\text{ }\mu\text{m}$  ist. Die Länge der Einlaßkammer 4, d.h. der Abstand zwischen der Einmündung der Fluidkanäle 2, 3 und der Einmündung des Fokussierungskanals 5, betrug nur 2,5 mm, um ein rasches Ableiten und Fokussieren der vereinigten Fluidströme zu ermöglichen. Das Verhältnis der Querschnittsfläche des Fokussierungskanals zu der Summe der Querschnittsflächen der Fluidkanäle 2, 3 betrug damit 1 zu 3,6. Mit einer Länge von 2,5 mm des Fokussierungskanals 5 wurde ein Verhältnis von Länge zu Breite von 5 zu 1 erzielt. Der Fokussierungskanal 5 ging in Längserstreckung in die kanalartig ausgebildete Wirbelkammer 6 einer Länge von 24,6 mm und einer Breite von 2,8 mm über. Der Öffnungswinkel der Seitenflächen der Wirbelkammern 6 im Übergangsbereich zwischen der Wirbelkammer 6 und des Fokussierungskanals 5 betrug  $126,7^\circ$ . Die vier in der Figur 1 a dargestellten Platten besaßen eine Außenabmessung von  $26 \times 76$  mm. Die Platten wurden fotolithographisch unter Verwendung von fotostrukturierbarem Glas mittels eines Verfahrens, wie es in Microelectronic Engineering 30 (1996), S. 497-504 beschrieben ist, strukturiert. Die Platten wurden durch anodisches Bonden fluidisch dicht miteinander verbunden.

**Bezugszeichenliste**

1	Statischer Mikrovermischer
2	Fluidkanal für Fluid a
3	Fluidkanal für Fluid b
4	Einlaßkammer
5	Fokussierungskanal
6	Wirbelkammer
7	Auslasskanal
8	Konkave Wand
9a, 9b	Zuführkanal
12	Fluidkanal für Fluid a
13	Fluidkanal für Fluid b
14	Einlaßkammer
15	Fokussierungskanal
16	Wirbelkammer
20	Mischerplatte
21	Deckplatte
22	Bodenplatte
23	Zuführung für Fluid a
24	Zuführung für Fluid b
25	Abführung
26	Verteilerplatte
27	Verteilerstruktur für Fluid a
28	Verteilerstruktur für Fluid b
32	Fluidkanal für Fluid a
33	Fluidkanal für Fluid b
34	Einlaßkammer
35	Fokussierungskanal
42	Fluidkanal für Fluid c
43	Fluidkanal für Fluid d

44	Einlaßkammer
45	Fokussierungskanal
52	Fluidkanal für Fluid c
53	Fluidkanal für Fluid d
55	Fokussierungskanal
100	Fluidspirale
105, 105'	Fokussierungskanal
115, 115'	Fokussierungskanal
116	Wirbelkammer
120	Mischerplatte
121	Mischerplatte
122	Mischerplatte
123	Nut
123a, b	Verbindungsnut
123a	Verteilernut
123b	Verteilernut
124	Nut
124a	Verbindungsnut
125	Distanzplatte
135, 135'	Fokussierungskanal

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Mischen mindestens zweier Fluide, das folgende Schritte umfaßt:
  - Zusammenführen einer Vielzahl getrennter Fluidströme der beiden Fluide unter Bildung abwechselnd benachbarter Fluidlamellen der beiden Fluide,
  - Abführen der vereinigten Fluidlamellen unter Ausbildung eines fokussierten Gesamtfluidstroms,
  - Einleiten des fokussierten Gesamtfluidstroms als Fluidstrahl in eine Wirbelkammer unter Ausbildung einer nach innen strömenden Fluidspirale,
  - Ableiten der gebildeten Mischung aus dem Zentrum der Fluidspirale.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß Fluidströme der beiden Fluide mit jeweils einer Breite im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 1 mm und einer Tiefe im Bereich von 10  $\mu\text{m}$  bis 10 mm unter Bildung von Fluidlamellen zusammengeführt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die vereinigten Fluidlamellen derart fokussiert werden, daß das Verhältnis der Querschnittsfläche des fokussierten Gesamtfluidstroms zu der Summe der Querschnittsflächen der zusammenzuführenden Fluidlamellen jeweils senkrecht zur Strömungsrichtung im Bereich von 1 : 1,5 bis 1 : 500, vorzugsweise im Bereich von 1 : 2 bis 1 : 50, liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis der Länge des fokussierten Gesamtfluidstroms zu seiner Breite im Bereich von 1 : 1 bis 30 : 1, vorzugsweise im Bereich von 1,5 : 1 zu 10 : 1, liegt.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der fokussierte Gesamtfluidstrom in eine Wirbelkammer (6) eingeleitet wird, die in der Ebene der sich ausbildenden Fluidspirale eine im wesentlichen runde oder ovale Form besitzt.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der fokussierte Gesamtfluidstrom in einem spitzen Winkel oder bevorzugt tangential in die Wirbelkammer (6) eingeleitet wird.
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in die vereinigten Fluidlamellen oder in den fokussierten Gesamtfluidstrom oder in die Wirbelkammer (6) ein weiteres Fluid, beispielsweise ein einen die Mischung stabilisierenden Hilfsstoff aufweisendes Fluid, eingeleitet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehende Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden ersten Verfahrensschritte an mindestens zwei räumlich getrennten Orten jeweils gleichzeitig durchgeführt werden und die so erhaltenen fokussierten Gesamtfluidströme in eine Ebene der Wirbelkammer derart eingeleitet werden, daß sich eine gemeinsame nach innen strömende Fluidspirale bildet, die aus mindestens zwei einzelnen ineinanderliegenden Fluidspiralen gebildet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden ersten Verfahrensschritte an mindestens zwei räumlich getrennten Orten jeweils gleichzeitig durchgeführt werden und die somit erhaltenen fokussierten Gesamtfluidströme in unterschiedlichen Ebenen der Wirbelkammer derart zugeführt werden, daß sich übereinanderliegende nach innen strömende Fluidspiralen bilden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den beiden zwei- oder mehrfach durchgeführten Verfahrensschritten gleiche und/ oder unterschiedliche Fluide verwendet werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den beiden zwei- oder mehrfach durchgeführten Verfahrensschritten gleiche und/oder unterschiedliche Gesamtfluidströme in unterschiedlichen Winkeln in die Wirbelkammer (6, 16) eingeleitet werden.
12. Statischer Mikrovermischer (1) zum Mischen mindestens zweier Fluide mit  
  
einer Vielzahl abwechselnd benachbarter Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53) zur getrennten Zuführung der Fluide als Fluidlamellen,  
  
mindestens einer Einlaßkammer (4, 34, 44), in die die Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53) einmünden, und  
  
einem mit der Einlaßkammer (4, 34, 44) fluidisch in Verbindung stehenden Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115')



zum Abführen der in der Einlaßkammer (4, 14, 34, 44) vereinigten Fluidlamellen unter Ausbildung eines fokussierten Gesamtfluidstroms,

**gekennzeichnet durch**

- eine Wirbelkammer (6, 16, 116), in die der Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') derart einmündet, daß der fokussierte Gesamtfluidstrom als Fluidstrahl eintritt unter Ausbildung einer nach innen strömenden Fluidspirale (100), und
  - mindestens einen mit der Wirbelkammer (6, 16, 116) fluidisch in Verbindung stehenden Auslaßkanal (7) zum Ableiten der gebildeten Mischung.
13. Mikrovermischer nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die benachbarten Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53) eine Breite im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 1 mm und einer Tiefe im Bereich von 10  $\mu\text{m}$  bis 10 mm aufweisen.
14. Statischer Mikrovermischer nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einlaßkammer (4, 14, 34, 44) eine den Fluidkanälen gegenüberliegende, konkave Wand (8) aufweist, in die der Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') mittig einmündet.
15. Mikrovermischer nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einlaßkammer (4, 14, 34, 44) einen in Strömungsrichtung konstanten Querschnitt aufweist.
16. Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105',

115, 115') in Strömungsrichtung einen konstanten oder sich verjüngenden Querschnitt aufweist.

17. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis der Querschnittsfläche des Fokussierungskanals (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') zumindest im Bereich der Einmündung in die Wirbelkammer (6, 16, 116) zu der Summe der Querschnittsflächen der in die Einlaßkammer (4, 14, 34, 44) einmündenden Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53) jeweils senkrecht zur Kanalachse im Bereich von 1 : 1,5 bis 1 : 500, vorzugsweise im Bereich von 1 : 2 bis 1 : 50, liegt.
18. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verhältnis der Länge des Fokussierungskanals (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') zu seiner Breite zumindest im Bereich der Einmündung in die Wirbelkammer (6, 16, 116) vorliegenden Breite im Bereich von 1 : 1 bis 30 : 1, vorzugsweise im Bereich von 1,5 : 1 zu 10 : 1, liegt.
19. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wirbelkammer (6, 16, 116) in einer Ebene, in der der Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') liegt, einen im wesentlichen runden oder ovalen Querschnitt aufweist.
20. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wirbelkammer (6, 16, 116) eine im wesentlichen zylindrische Form aufweist.

21. Mikrovermischer nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Druckmesser der Wirbelkammer (6, 16, 116) 2 mm bis 20 cm, vorzugsweise 5 mm bis 10 cm beträgt.
22. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß unterhalb und/oder oberhalb eines zentralen Bereichs der Wirbelkammer (6, 16, 116) ein oder mehrere Auslaßkanäle (7) einmünden.
23. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53), die Einlaßkammer (4, 14, 34, 44), der Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') und die Wirbelkammer (6, 16, 116) in einer Ebene angeordnet sind und die gleiche Tiefe aufweisen.
24. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß in die Eintrittskammer (4, 14, 34, 44), den Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') oder die Wirbelkammer (6, 16, 116) ein oder mehrere Zuführkanäle (9a, 9b) zum Zuführen eines weiteren Fluids, beispielsweise ein einen die Mischung stabilisierenden Hilfsstoff aufweisendes Fluid, einmünden.
25. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') in einem spitzen Winkel oder bevorzugt tangential in die Wirbelkammer (6, 16, 116) einmündend angeordnet ist.
26. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vielzahl benachbarter Fluidkanäle

(2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53), die Einlaßkammer (4, 14, 34, 44), in die die Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53) einmünden, und der mit der Einlaßkammer (4, 14, 34, 44) fluidisch in Verbindung stehende Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') jeweils zwei- oder mehrfach vorhanden sind und die zwei oder mehr Fokussierungskanäle (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') in einer Ebene in die eine gemeinsame Wirbelkammer (6, 16, 116) einmünden.

27. Statischer Mikrovermischer nach den Ansprüchen 12 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vielzahl benachbarter Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53), die Einlaßkammer (4, 14, 34, 44), in die die Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53) einmünden, und der mit der Einlaßkammer (4, 14, 34, 44) fluidisch in Verbindung stehende Fokussierungskanal (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') jeweils zwei- oder mehrfach vorhanden sind und die zwei oder mehr Fokussierungskanäle (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') in mehreren Ebenen in die eine gemeinsame Wirbelkammer (6, 16, 116) einmünden.
28. Statischer Mikrovermischer nach Anspruch 26 oder 28, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zwei oder mehrfach vorhandenen Fokussierungskanäle (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') in unterschiedlichen Winkeln in die Wirbelkammer (6, 16, 116) einmünden.
29. Statischer Mikrovermischer nach einem der Ansprüche 12 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fluidführungsstrukturen, wie die Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53), die Einlaßkammern (4, 14, 34, 44), die Fokussierungskanäle (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115'), Zuführungen (23, 23', 23'', 23''', 24, 24', 24'', 24''') und die Wirbelkammern (6, 16, 116), als Ausnahmen und/ oder

Durchbrüche in Platten aus einem für die zu mischenden Fluide ausreichend inerten Material eingebracht sind und diese offenen Strukturen durch die Stapelung der Platten und durch mindestens eine mit dem Plattenstapel fluidisch dicht verbundene Deck- und/ oder Bodenplatte (21, 22) abgeschlossen sind, wobei die Deck- und/ oder Bodenplatte (21, 22) mindestens eine Zuführung (23, 23'', 24, 24'') für die beiden Fluide und/ oder mindestens eine Abführung (25) für die gebildete Mischung aufweisen.

30. Statischer Mikrovermischer nach Anspruch 29, **gekennzeichnet durch** eine zwischen einer Mischerplatte (20) mit Fluidkanälen (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53), Einlaßkammer (4, 14, 34, 44), Fokussierungskanälen (5, 15, 35, 45, 105, 105', 115, 115') und Wirbelkammer (6, 16, 116) und der Bodenplatte (22) angeordnete und mit diesen fluidisch dicht verbundene Verteilerplatte (26) mit den Zuführungen (23'', 24'') zum getrennten Zuführen der Fluide von den Zuführungen (23''', 24''') in der Bodenplatte (22) in die Fluidkanäle (2, 3, 12, 13, 32, 33, 42, 43, 52, 53) in der Mischerplatte (20).
31. Verwendung des Verfahrens und/oder des statischen Mikrovermischers nach einem oder mehreren vorhergehenden Ansprüchen zum Reagieren mindestens zweier Stoffe, wobei beide Stoffe in einem eingeleiteten Fluid oder ein erster Stoff in einem ersten Fluid und ein zweiter Stoff in einem weiteren eingeleiteten Fluid enthalten sind.
32. Verwendung des Verfahrens und/oder des statischen Mikrovermischers nach einem oder mehreren vorhergehenden Ansprüchen zur Herstellung einer Gas-Flüssig-Dispersion, wobei mindestens ein eingeleitetes Fluid ein Gas oder ein Gas-Gemisch und mindestens ein weiteres eingeleitetes Fluid eine Flüssigkeit, ein Flüssigkeitsgemisch, eine Lösung, eine Dispersion oder eine Emulsion aufweist.

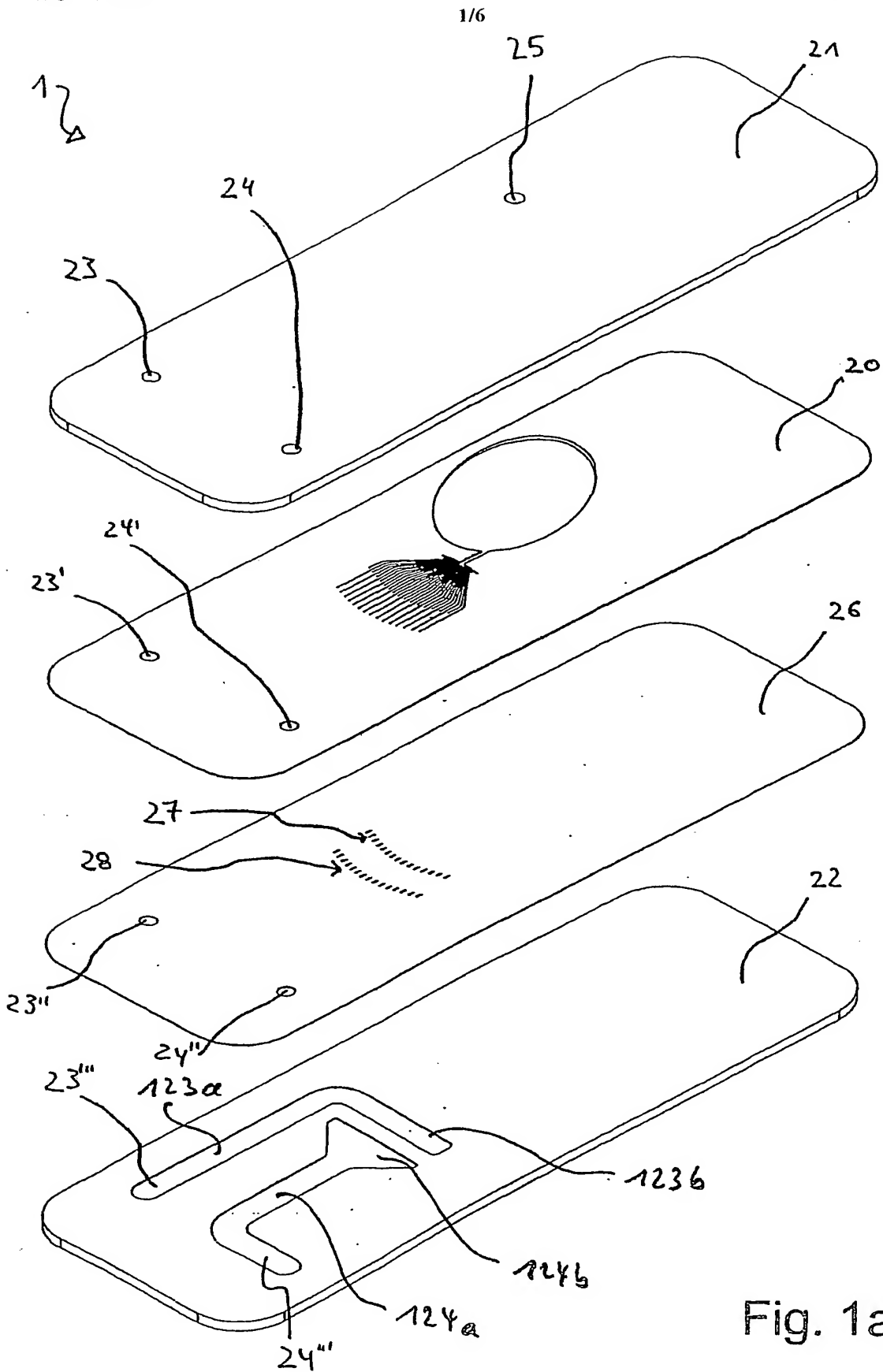


Fig. 1a

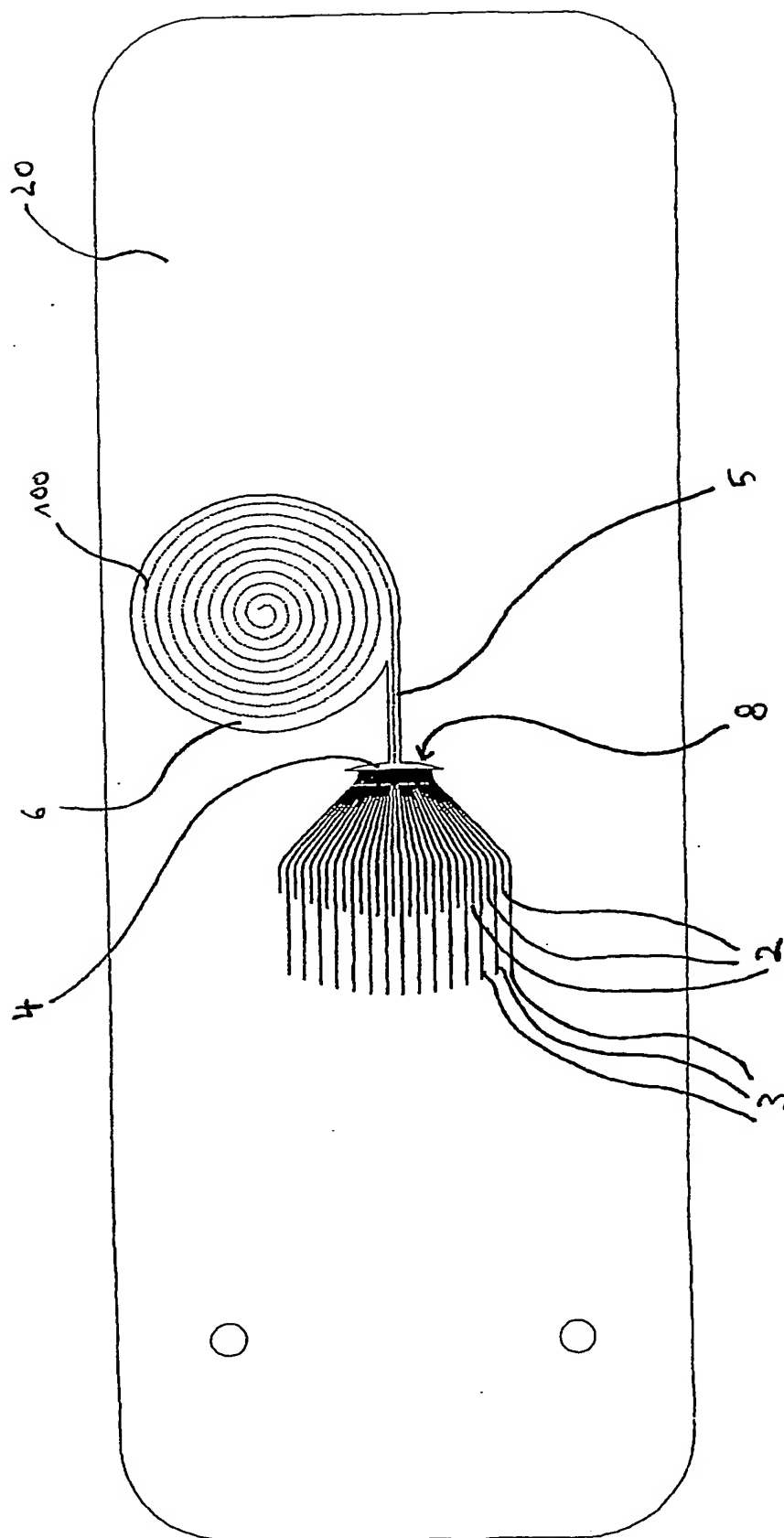
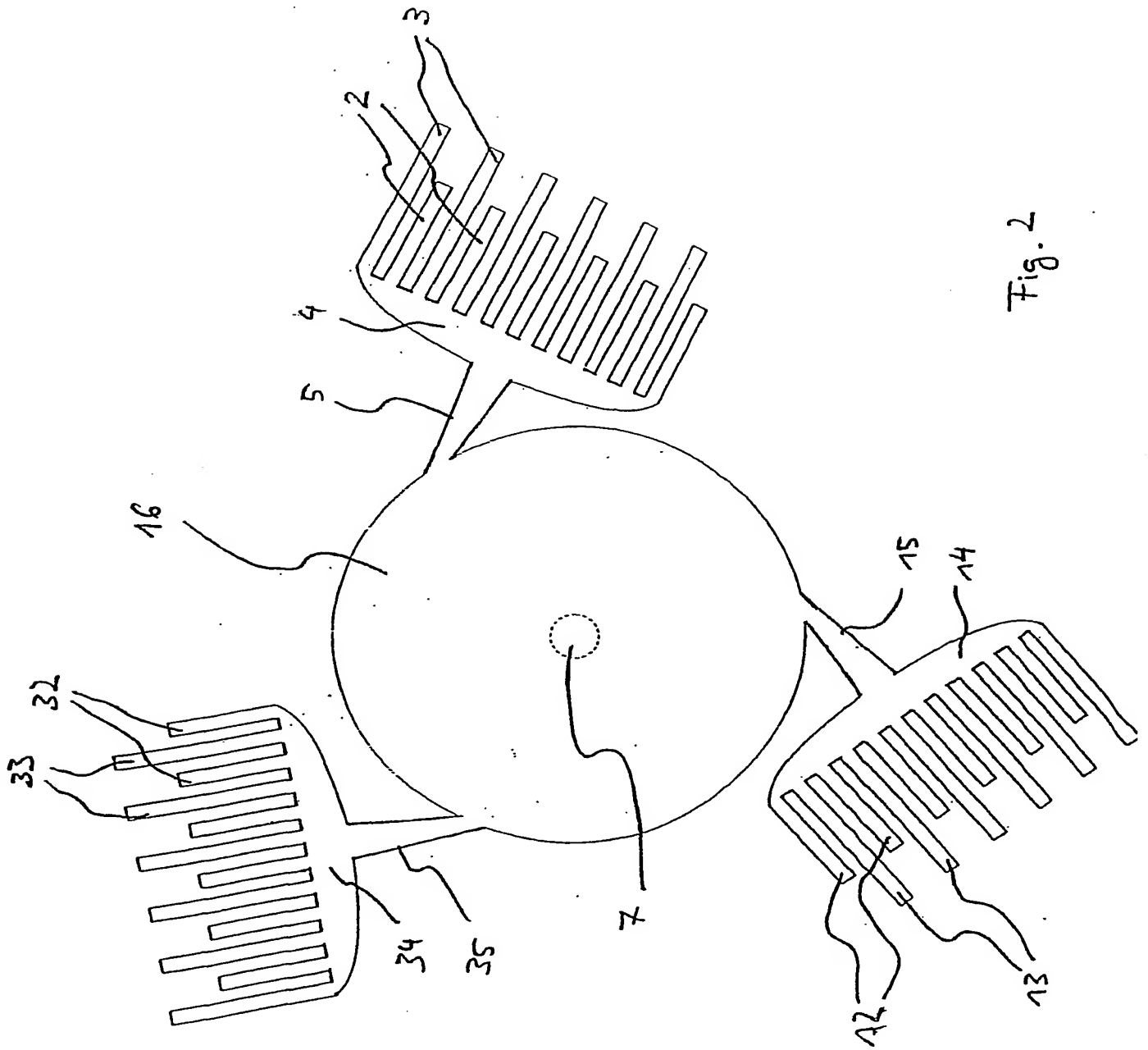


Fig. 2





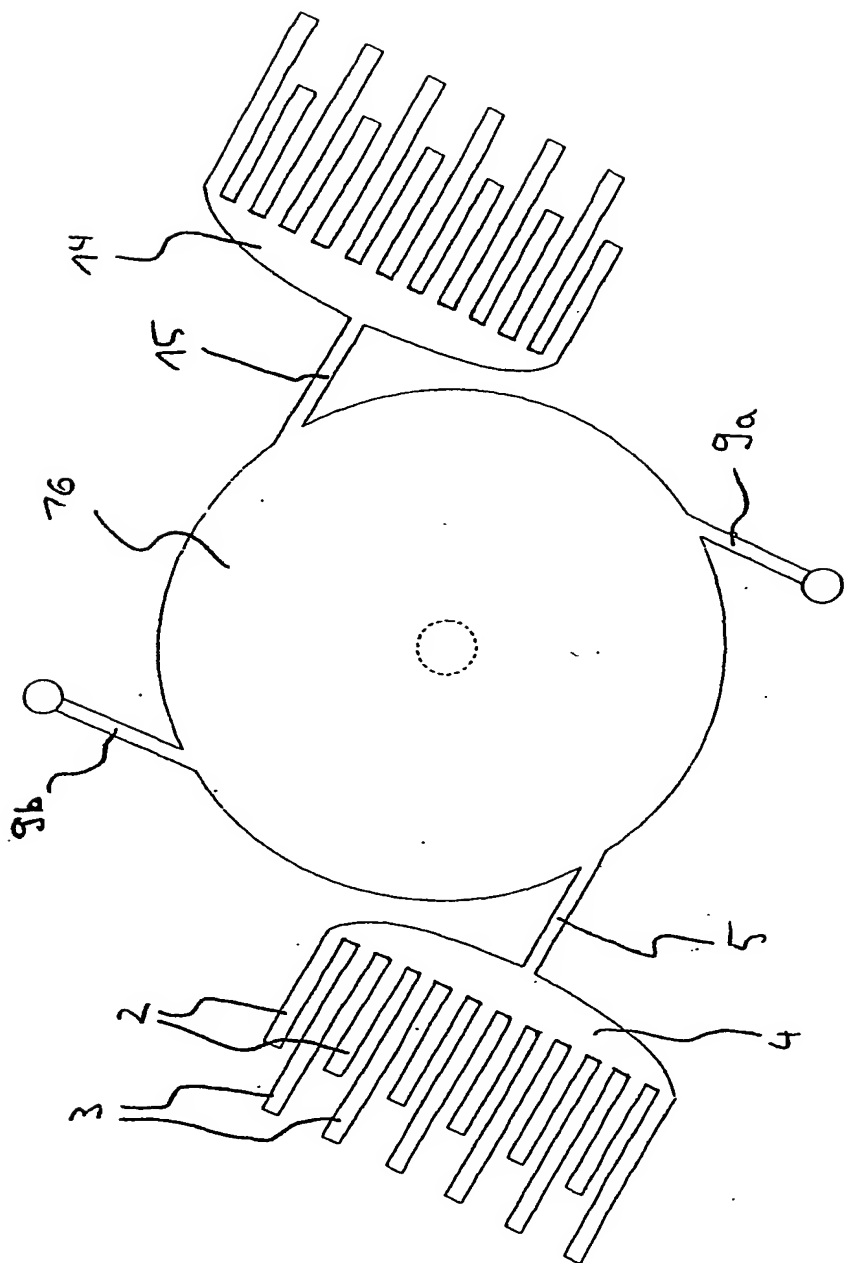
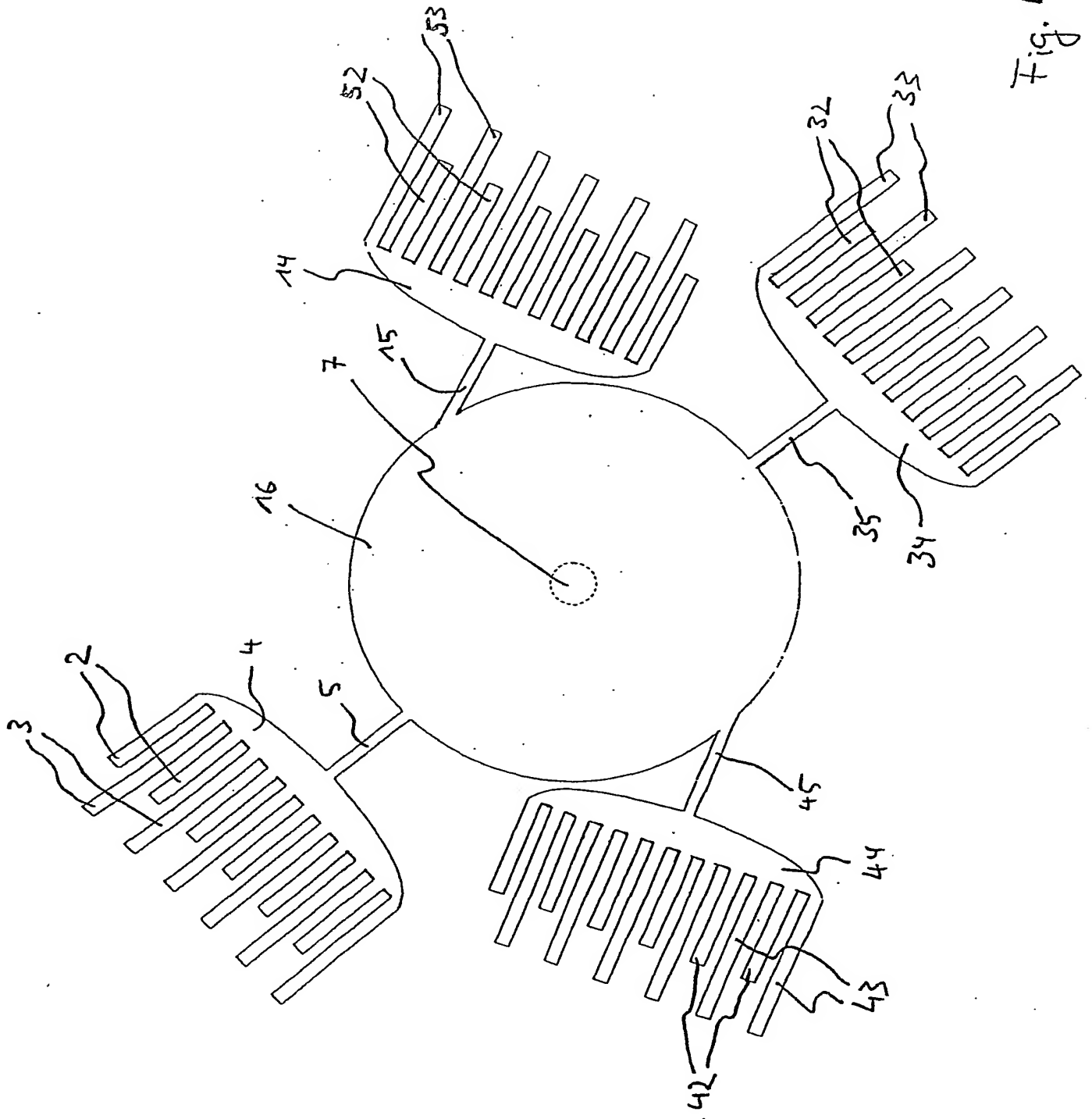


Fig. 3



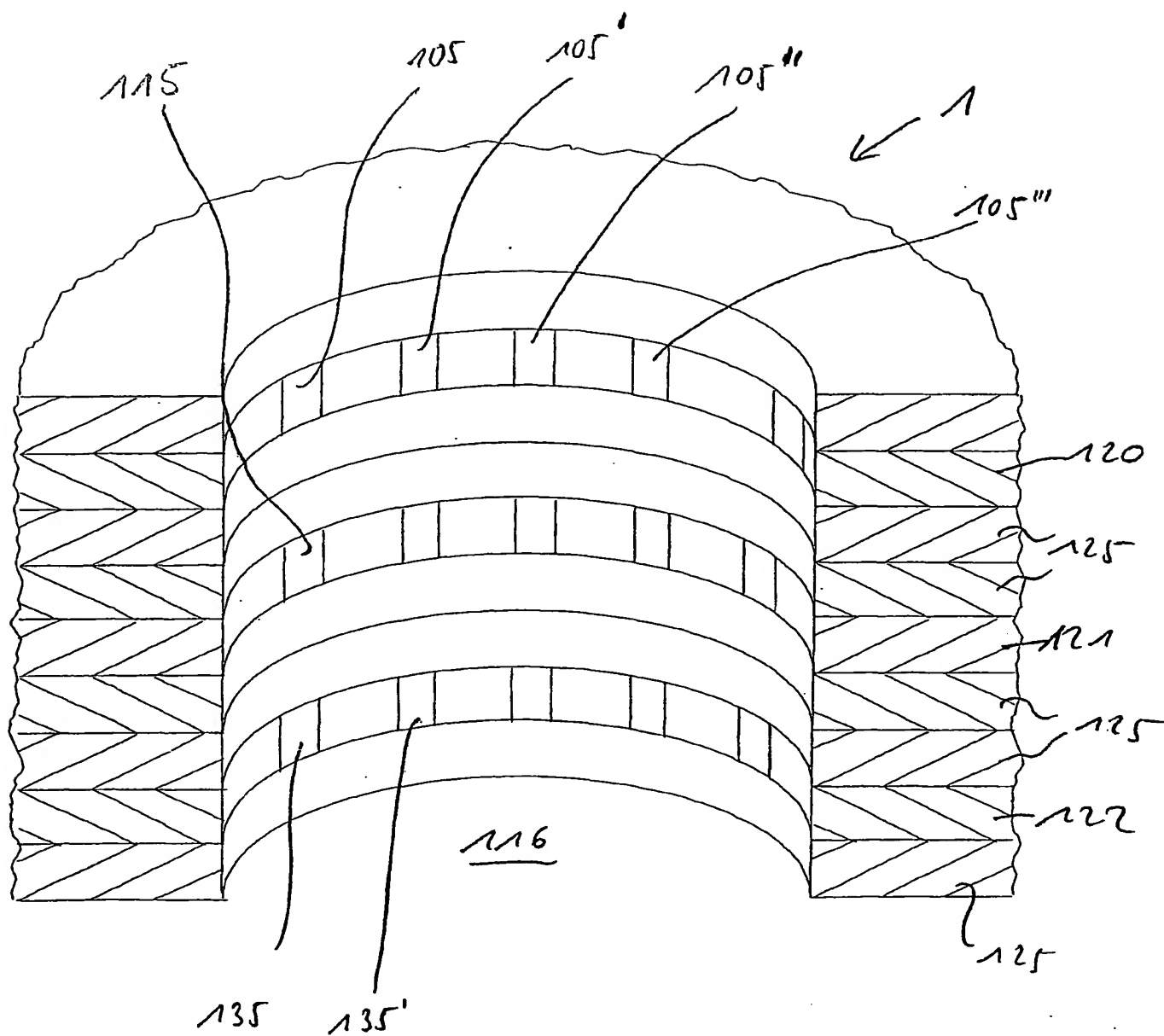


Fig. 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Application No

PCT/EP 02/04906

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 B01F13/00 B01F5/02 B01J19/00 B01F5/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 B01F B01J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) WPI Data, EPO-Internal, PAJ		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	DE 100 41 823 A (INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH ;MGT MIKROGLAS TECHNIK AG (DE)) 14 March 2002 (2002-03-14) the whole document ---	1-32
A	WO 00 62929 A (BRAESE STEFAN ;BREMUS ELKE (DE); GILLNER ARNOLD (DE); FRAUNHOFER G) 26 October 2000 (2000-10-26)  page 6, line 22 - line 27; figure 2 page 10, line 1 -page 11, line 7 ---	1,5,8, 10-12, 19,20, 22,25, 28-32
A	EP 0 294 723 A (HITACHI LTD) 14 December 1988 (1988-12-14) column 9, line 29 - line 50; figure 6 --- -/--	1,12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
<b>* Special categories of cited documents :</b>  *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed  *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search  2 October 2002		Date of mailing of the international search report  16/10/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Philpott, G

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Application No  
PCT/EP 02/04906

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 690 763 A (ASHMEAD JAMES WILLIAM ET AL) 25 November 1997 (1997-11-25) figures 11,15 ---	11,12,27
A	EHRFELD W ET AL: "Microreactors" MICROREACTORS: NEW TECHNOLOGY FOR MODERN CHEMISTRY, WEINHEIM: WILEY - VCH, DE, 2000, pages 44-46,80-83, XP002190806 ISBN: 3-527-29590-9 cited in the application the whole document -----	1,12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No

PCT/EP 02/04906

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10041823	A	14-03-2002	DE 10041823 A1	14-03-2002
			AU 1215102 A	04-03-2002
			WO 0216017 A2	28-02-2002
WO 0062929	A	26-10-2000	DE 19917433 A1	16-11-2000
			WO 0062929 A2	26-10-2000
EP 0294723	A	14-12-1988	JP 63304133 A	12-12-1988
			DE 3876503 D1	21-01-1993
			DE 3876503 T2	13-05-1993
			EP 0294723 A1	14-12-1988
			US 4905497 A	06-03-1990
			US 4977776 A	18-12-1990
US 5690763	A	25-11-1997	US 5534328 A	09-07-1996
			AU 6409794 A	11-10-1994
			BR 9405989 A	26-12-1995
			DE 69413012 D1	08-10-1998
			DE 69413012 T2	25-03-1999
			EP 0688242 A1	27-12-1995
			JP 8508197 T	03-09-1996
			WO 9421372 A1	29-09-1994

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

des Aktenzeichens

PCT/EP 02/04906

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B01F13/00 B01F5/02 B01J19/00 B01F5/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B01F B01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P, A	DE 100 41 823 A (INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH ; MGT MIKROGLAS TECHNIK AG (DE)) 14. März 2002 (2002-03-14) das ganze Dokument	1-32
A	WO 00 62929 A (BRAESE STEFAN ; BREMUS ELKE (DE); GILLNER ARNOLD (DE); FRAUNHOFER G) 26. Oktober 2000 (2000-10-26)  Seite 6, Zeile 22 - Zeile 27; Abbildung 2 Seite 10, Zeile 1 - Seite 11, Zeile 7	1, 5, 8, 10-12, 19, 20, 22, 25, 28-32
A	EP 0 294 723 A (HITACHI LTD) 14. Dezember 1988 (1988-12-14) Spalte 9, Zeile 29 - Zeile 50; Abbildung 6  -/--	1, 12



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*g\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

2. Oktober 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/10/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Philpott, G

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. des Aktenzeichens

PCT/EP 02/04906

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Befr. Anspruch Nr.
A	US 5 690 763 A (ASHMEAD JAMES WILLIAM ET AL) 25. November 1997 (1997-11-25) Abbildungen 11,15 ----	11,12,27
A	EHRFELD W ET AL: "Microreactors" MICROREACTORS: NEW TECHNOLOGY FOR MODERN CHEMISTRY, WEINHEIM: WILEY - VCH, DE, 2000, Seiten 44-46,80-83, XP002190806 ISBN: 3-527-29590-9 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,12



## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. les Aktenzeichen

PCT/EP 02/04906

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10041823 A	14-03-2002	DE 10041823 A1 AU 1215102 A WO 0216017 A2	14-03-2002 04-03-2002 28-02-2002
WO 0062929 A	26-10-2000	DE 19917433 A1 WO 0062929 A2	16-11-2000 26-10-2000
EP 0294723 A	14-12-1988	JP 63304133 A DE 3876503 D1 DE 3876503 T2 EP 0294723 A1 US 4905497 A US 4977776 A	12-12-1988 21-01-1993 13-05-1993 14-12-1988 06-03-1990 18-12-1990
US 5690763 A	25-11-1997	US 5534328 A AU 6409794 A BR 9405989 A DE 69413012 D1 DE 69413012 T2 EP 0688242 A1 JP 8508197 T WO 9421372 A1	09-07-1996 11-10-1994 26-12-1995 08-10-1998 25-03-1999 27-12-1995 03-09-1996 29-09-1994

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**